



21 Aktenzeichen: 198 00 574.1  
22 Anmeldetag: 9. 1. 98  
43 Offenlegungstag: 15. 7. 99

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Muenzel, Horst, Dr., 72770 Reutlingen, DE;  
Baumann, Helmut, Dr. Dr., 72810 Gomaringen, DE;  
Graf, Eckhard, 72810 Gomaringen, DE

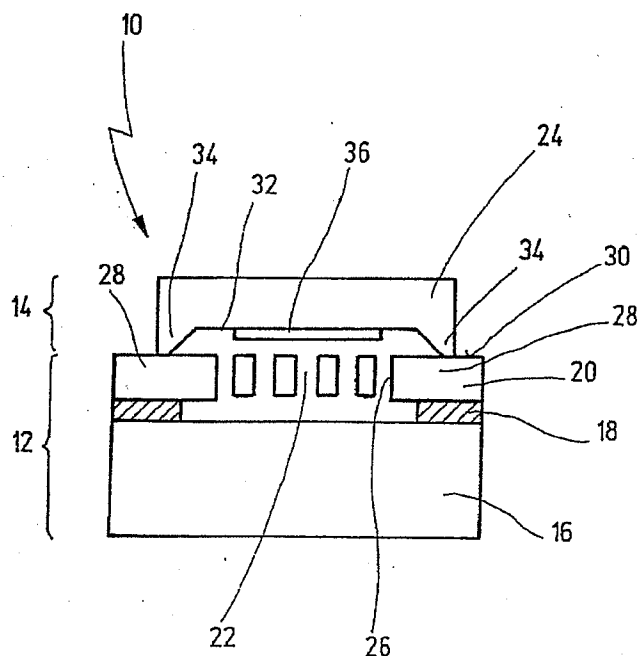


Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Mikromechanisches Bauelement

57 Die Erfindung betrifft ein Bauelement, mit wenigstens einer auf einer Silizium-Substrat strukturierten mikromechanischen Oberflächenstruktur und einem die wenigstens eine Oberflächenstruktur abdeckenden Kappenwafer.

Es ist vorgesehen, daß der Kappenwafer (14) von einem Glaswafer (24) gebildet ist.



Die Erfindung betrifft ein Bauelement, mit wenigstens einer, auf einem Silizium-Substrat strukturierten mikromechanischen Oberflächenstruktur und einer, die wenigstens eine Oberflächenstruktur abdeckenden Schutzkappe sowie ein Verfahren zur Herstellung des Bauelementes.

#### Stand der Technik

Bauelemente der gattungsgemäßen Art sind bekannt. Diese bestehen aus einem Silizium-Substrat auf dessen Oberfläche mittels bekannter Verfahren eine polykristalline Siliziumschicht epitaktisch aufgewachsen wird. In dieser Siliziumschicht werden mikromechanische Strukturen, beispielsweise seismische Massen von Sensorelementen, Aktoren von Mikromotoren oder andere bewegliche Strukturen erzeugt. Die Strukturierung wird beispielsweise über definierte Ätzangriffe von der Oberseite des polykristallinen Siliziums erzielt, wobei durch bereichsweise Unterätzen beweglich aufgehängte Strukturen erzielbar sind.

Um beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Bauelemente die mikromechanischen Strukturen vor äußeren Einflüssen zu schützen, ist bekannt, diese mit einer abdeckenden Schutzkappe zu versehen. Hier ist bekannt, diese Schutzkappe als, entsprechend des abzudeckenden Bauelementes strukturierten Siliziumwafer herzustellen, der mit dem die Oberflächenstruktur aufweisenden Wafer gefügt wird. Um diese Fügeverbindung zu erreichen, wird der Kappenwafer an den Fügestellen mittels Siebdruck mit einem niederschmelzenden Glas versehen. Anschließend erfolgt eine Justierung des Kappenwafers zu dem Grundwafer und das Fügen unter Druck und Temperatureinwirkung von circa 400°C.

Hierbei ist nachteilig, daß die Bauelemente nur mittels eines relativ aufwendigen Herstellungsprozesses unter Verwendung von siebgedrucktem niederschmelzenden Glas herstellbar sind. Insbesondere ist nachteilig, daß bei dem auf dem Siebdruck des niederschmelzenden Glases folgenden Fügeprozeß unvermeidlich eine bestimmte Menge des niederschmelzenden Glases aus der beziehungsweise den Fügestellen zwischen dem Kappenwafer und dem Grundwafer herausgepreßt wird. Um eine Beeinflussung der mikromechanischen Strukturen durch dieses heraustretende Glas zu vermeiden, wird eine relativ große Kontakt- beziehungsweise Verbindungsfläche zwischen dem Kappenwafer und dem Grundwafer benötigt. Wird beispielsweise ein Verbindungsbereich mit einer circa 500 µm breiten Glasschicht bedruckt, ergibt sich bei dem nachfolgenden Fügeprozeß, infolge des seitlichen Ausweichens des Glases, ein tatsächlicher Bedarf von circa 700 µm. Dieser zusätzliche Flächenbedarf steht nicht für die Anordnung von Funktionsstrukturen des Bauelementes zur Verfügung, so daß die bekannten Bauelemente entsprechend groß bauen müssen.

Nachteilig bei den bekannten Bauelementen ist ferner, daß sich ein hermetisch dichter Abschluß der Bauelemente nur sehr aufwendig erzielen läßt, da die Anbindung des Kappenwafers über Fügen von im Siebdruck aufgebrachtem niederschmelzenden Glas technisch nur ein beschränktes Vakuum zuläßt.

Ferner ist nachteilig, daß nach Fügen des Kappenwafers mit dem Grundwafer eine Überprüfung der nunmehr eingekapselten mikromechanischen Oberflächenstrukturen lediglich durch Ausmessen möglich ist. Eine optische Überprüfung ist nicht möglich.

Das erfindungsgemäße Bauelement mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen bietet den Vorteil, daß dieses mit einfachen, sicher beherrschbaren Prozessschritten herstellbar sind. Dadurch, daß die Kappe von einem Glaswafer gebildet ist, läßt sich das Fügen des abdeckenden Glaswafers mit dem Grundwafer des Bauelementes über, für eine Massenproduktion geeignete, robuste Verfahren erzielen. Insbesondere, wenn die den Glaswafer zugewandte Oberfläche des Grundwafers mit einer definierten Restrauigkeit, insbesondere von < 40 nm ausgebildet ist, kann ohne Anordnung von haftvermittelnden Zwischenschichten ein direktes Aufbringen des Glaswafers auf den Grundwafer erfolgen.

Überraschenderweise wurde gefunden, daß Restrauigkeiten < 40 nm beispielsweise mittels sogenannter CMP-Verfahren (chemical mechanical polishing/chemisch-mechanisches Polieren) für polykristalline Siliziumschichten, in denen die mikromechanischen Oberflächenstrukturen angelegt sind, reproduzierbar erzielbar sind. Infolge einer derartig hochwertigen Planarisierung der zum Glaswafer weisenden Oberseite lassen sich Fügetechniken nutzen, die ein mit den erwähnten Nachteilen behaftetes Zwischenanordnen eines zusätzlichen Haftvermittlers, insbesondere des in Siebdrucktechnik aufgetragenen niederschmelzenden Glases, überflüssig macht.

Insbesondere ist bevorzugt, wenn das Fügen des Glaswafers mit dem Grundwafer über ein anodisches Bonden erfolgt. Hierdurch lassen sich relativ kleine Verbindungsflächen erzielen, die einen entsprechend verringerten Platzbedarf auf dem Bauelement benötigen. Somit können die Verbindungsflächen näher an die Funktionsstrukturen des Bauelementes plaziert werden, so daß deren gesamter Flächenbedarf verringert ist.

In weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß der Glaswafer optisch transparent ist. Hierdurch lassen sich die mittels des Glaswafers gekapselten mikromechanischen Oberflächenstrukturen nach Endfertigung des Bauelementes einer Sichtprüfung unterziehen. Ferner kann so sehr vorteilhaft, eine Auswertung von Bewegungen der mikromechanischen Strukturen auf optischen Wege erfolgen, indem diese beispielsweise aktive und/oder passive optische Elemente aufweisen, mittels denen optische Signale durch den transparenten Glaswafer hindurch auswertbar sind.

Ferner ist bevorzugt, daß bei dem erfindungsgemäßen Bauelement die Erzielung von Vakuumeinschlüssen von insbesondere bis 1 mbar möglich wird. So können sehr vorteilhaft die mikromechanischen Strukturen als seismische Massen von Drehratensensoren genutzt werden, bei denen zur Erzielung einer ausreichenden Schwingergüte ein qualitativ hochwertiges Vakuum notwendig ist.

In weiterer bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß an der den mikromechanischen Strukturen zuwandten Seite des Glaswafers wenigstens eine Elektrode angeordnet ist. Hierdurch läßt sich neben der Abdeckelung der mikromechanischen Strukturen der Glaswafer gleichzeitig zur Detektion von etwaigen Auslenkungen der mikromechanischen Strukturen einsetzen, indem die Elektrode beispielsweise Bestandteil eines kapazitiven Auswertemittels ist, das Abstandsänderungen zwischen der Elektrode des Glaswafers und wenigstens einer mikromechanischen Struktur erfaßt.

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnung, die schematisch eine Schnittdarstellung eines Bauelementes zeigt, näher erläutert.

#### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Die Figur zeigt ein insgesamt mit 10 bezeichnetes Bauelement, das einen so bezeichneten Grundwafer 12 und einen hierauf angeordneten Kappenwafer 14 umfaßt. Der Grundwafer 12 besteht aus einem Silizium-Substrat 16, einer hierauf angeordneten Siliziumoxid  $\text{SiO}_2$ -Schicht 18 sowie einer polykristallinen Siliziumschicht 20. In der Siliziumschicht 20 ist eine hier lediglich angedeutete mikromechanische Oberflächenstruktur 22 strukturiert, die beispielsweise federn aufgehängte seismische Massen umfaßt.

Der Kappenwafer 14 besteht aus einem Glaswafer 24, beispielsweise aus transparentem Pyrex®.

Die Oberflächenstruktur 22 ist in einer Ausnehmung 26 der Siliziumschicht 20 strukturiert, und wird von einem Verbindungsbereich 28 der Siliziumschicht 20 umgriffen. Eine Oberfläche 30 der Siliziumschicht 20 ist zumindest in deren Verbindungsbereich 28 hochwertig planarisiert und besitzt eine maximale Rauigkeit  $< 40 \text{ nm}$  (P-Valley).

Der Glaswafer 24 bildet in seinem, den Oberflächenstrukturen 22 zugewandten Abschnitt eine wannenförmige Vertiefung 32 aus, die von einem Verbindungsbereich 34 umgriffen wird. Der Verbindungsbereich 34 des Glaswafers 24 liegt auf dem Verbindungsbereich 28 der Siliziumschicht 20 auf. Hierbei erfolgt eine unmittelbare Fügeverbindung zwischen den Verbindungsbereichen 28 und 34 ohne Zwischenschaltung etwaiger Haftvermittler. Die Herstellung dieser Fügeverbindung wird noch erläutert.

Die Innenseite der Vertiefung 32 trägt wenigstens eine Elektrode 36, die über nicht näher dargestellte Verbindungsleitungen in eine elektronische Ansteuerbeziehungsweise Auswerteschaltung eingebunden ist.

Der Glaswafer 24 ist transparent. Hierdurch ist die mikromechanische Oberflächenstruktur 22 durch den Glaswafer 24 hindurch sichtbar, so daß einerseits eine Sichtprüfung der Oberflächenstrukturen 22 erfolgen kann, während andererseits die Oberflächenstrukturen 22 in optische Bauelemente einbindbar sind.

Durch den transparenten Glaswafer 24 kann insbesondere eine Prüfung auf Adhäsionseffekte und Beweglichkeit der Oberflächenstrukturen 22 und eine allgemeine Fehleranalyse, beispielsweise der Prüfung der Fügeverbindung zwischen dem Glaswafer 24 und der Siliziumschicht 20 erfolgen.

Das Bauelement 10 kann beispielsweise ein Drehratensensor oder ein Beschleunigungssensor sein. Durch die Anordnung der Elektrode 36, die bevorzugt so angeordnet ist, daß eine Sichtprüfung der mikromechanischen Oberflächenstrukturen 22 nicht oder nur unwesentlich beeinflusst wird, läßt sich diese so sehr vorteilhaft in eine Detektion einer beschleunigungs- oder drehratenbedingten Auslenkung der Oberflächenstruktur 22 einbinden, indem ein Abstand zwischen der Elektrode 26 und der Oberflächenstruktur 22 über eine Kapazitätsänderung auswertbar ist.

Ein unmittelbarer Berührungsbereich zwischen dem Glaswafer 24 und der Siliziumschicht 20 ist auf eine Mindestbreite von beispielsweise  $200 \mu\text{m}$  begrenzt. Infolge der Planarisierung der Oberfläche 30 mit einer Rauigkeit  $< 40 \text{ nm}$  lassen sich feste Fügeverbindungen zwischen dem Glaswafer 24 und der Siliziumschicht 20 in derart extrem kleinflächigen Berührungsbereichen erzielen. Hierdurch

wird es möglich, aufgrund des relativ geringen Flächenbedarfs für die eigentliche Fügestelle die mikromechanischen Oberflächenstrukturen 22 bis nahe an die Fügestelle heran zu strukturieren. Somit läßt sich eine hohe Dichte von Komponenten des Bauelementes 10 erzielen.

Die Herstellung des Bauelementes 10 erfolgt beispielsweise folgendermaßen:

Zunächst wird in an sich bekannter Weise der die Sensiereinrichtung aufweisende Grundwafer 12 hergestellt. Hierzu wird auf dem Silizium-Substrat 16 die Siliziumoxidschicht 18 abgeschieden, auf der wiederum die polykristalline Siliziumschicht 20 epitaktisch bei Temperaturen von beispielsweise über  $1000^\circ\text{C}$  aufgewachsen wird. Nach Aufwachsen der polykristallinen Siliziumschicht 20 erfolgt eine Strukturierung der mikromechanischen Oberflächenstrukturen 22 in der relativ dicken Polysiliziumschicht 20 unter Einbeziehung der Siliziumoxid-Zwischenschicht 18.

Unter epitaktisches Aufwachsen der Polysiliziumschicht 20 wird verstanden, daß zum Aufwachsen ein Prozeß verwendet wird, der beispielsweise aus der Halbleiterherstellung zur Erzeugung einkristalliner Siliziumschichten auf einem einkristallinen Silizium-Substrat bekannt ist. Derartige Prozesse sind in der Lage relativ große Schichtdicken, von beispielsweise einigen  $10 \mu\text{m}$  für die Polysiliziumschicht 20 zu liefern. Beim Einsatz dieses Prozesses zum Erzielen einer polykristallinen Siliziumschicht 20 bildet sich eine relativ große Rauigkeit an der Oberfläche 30 aus.

Die Strukturierung der Oberflächenstrukturen 20 erfolgt mittels bekannter Verfahren der Plasmaätztechnik, wobei zur Erzielung von frei aufgehängter Oberflächenstrukturen 22 eine teilweise Unterätzung der Polysiliziumschicht 20 erfolgt, indem die Siliziumoxidschicht 18 teilweise entfernt wird.

Die Siliziumoxidschicht 18 kann beispielsweise in einem CVD-Verfahren (chemical vapour deposition) aufgebracht sein, wobei die Zwischenschicht 18 beispielsweise aus mehreren Zwischenschichten bestehen kann, auf deren obersten Zwischenschicht dann die polykristalline Siliziumschicht 20 epitaktisch aufgewachsen wird.

Nachfolgend wird der Grundwafer 12 auf seiner Oberfläche 30 planarisiert. Hierzu erfolgt beispielsweise mittels eines CMP-Verfahrens eine extrem hochwertige Planarisierung, die zu einer Restrauigkeit von  $< 40 \text{ nm}$  führt.

Der Glaswafer 24 wird mittels geeigneter Verfahren, beispielsweise Ätzverfahren oder Ultraschallabtragsverfahren, derart bearbeitet, daß es zur Ausbildung der Vertiefung 32 und der Verbindungsbereiche 34 kommt.

Nach weiteren Ausführungsbeispielen kann der Glaswafer 24, wenn keine druckdichte Anordnung der Oberflächenstrukturen 22 notwendig ist, mit Durchgangsöffnungen versehen sein. Gegebenenfalls wird in die Vertiefung 32 die wenigstens eine Elektrode 36, beispielsweise durch Aufdampfen elektrisch leitfähiger Materialien, aufgebracht.

Schließlich erfolgt ein Fügen des Grundwafers 12 mit dem Kappenwafer 14, indem die Verbindungsbereiche 28 und 34 zueinander justiert werden. Das Fügen kann mittels anodischen Bonden erfolgen, bei dem die Wafer 12 und 24 an eine Spannungsquelle, von beispielsweise 100 bis  $1000 \text{ V}$  angeschlossen werden und gleichzeitig eine Temperatureinwirkung von circa  $400^\circ\text{C}$  erfolgt.

#### Patentansprüche

1. Bauelement, mit wenigstens einer auf einer Silizium-Substrat strukturierten mikromechanischen Oberflächenstruktur und einem die wenigstens eine Oberflächenstruktur abdeckenden Kappenwafer, dadurch gekennzeichnet, daß der Kappenwafer (14) von

- einem Glaswafer (24) gebildet ist.
2. Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Glaswafer (24) optisch transparent ist.
3. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Glaswafer (24) Durchgangsöffnungen und/oder Vertiefungen (32) unter Belassung von Verbindungsbereichen (34) zur Verbindung mit einem Grundwafer (12) des Bauelementes (10) aufweist. 5 10
4. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsbereiche (34) eine laterale Ausdehnung von < 200 µm aufweisen.
5. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer zum Grundwafer (12) weisenden Seite des Glaswafers (24), insbesondere in einer Vertiefung (33) wenigstens eine Elektrode (36) angeordnet ist. 15
6. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mikromechanischen Oberflächenstrukturen (22) in einer polykristallinen Siliziumschicht (20) ausgebildet sind, deren Oberfläche (30) dem Glaswafer (24) zugewandt ist. 20
7. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche (30) auf eine Rauigkeit < 40 nm planarisiert ist. 25
8. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Polysiliziumschicht (20) auf mindestens eine Zwischenschicht (18) epitaktisch aufgewachsen ist. 30
9. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement (10) ein Drehratensensor, Beschleunigungssensor oder dergleichen ist. 35
10. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Glaswafer (24) auf die polykristalline Siliziumschicht (20) des Grundwafers (12) ohne Zwischenschaltung eines Haftvermittlers gefügt wird. 40
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche (30) der polykristallinen Siliziumschicht (20) vor dem Fügen mit dem Glaswafer (24) planarisiert wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Planarisierung durch ein CMP-Verfahren (chemical mechanical polishing) auf eine Rauigkeit < 40 nm erfolgt. 45
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Glaswafer (24) mit dem Grundwafer (12) über anodisches Bonden verbunden wird. 50
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das anodische Bonden bei einer Temperatur von circa 400°C und einer elektrischen Spannung zwischen 100 und 1000 V erfolgt. 55
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchgangsöffnungen und/oder Vertiefungen (32) im Glaswafer (24) durch ätzen erzeugt werden. 60
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchgangsöffnungen und/oder Vertiefungen (32) durch Ultraschallabtragsverfahren erzeugt werden. 65

- Leerseite -

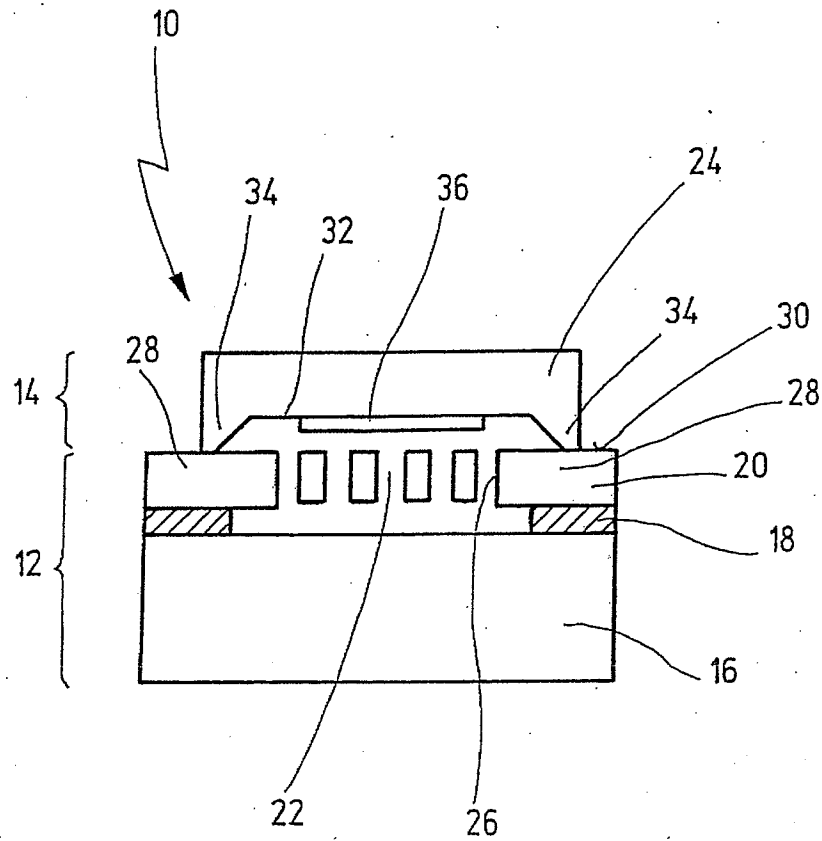


Fig.